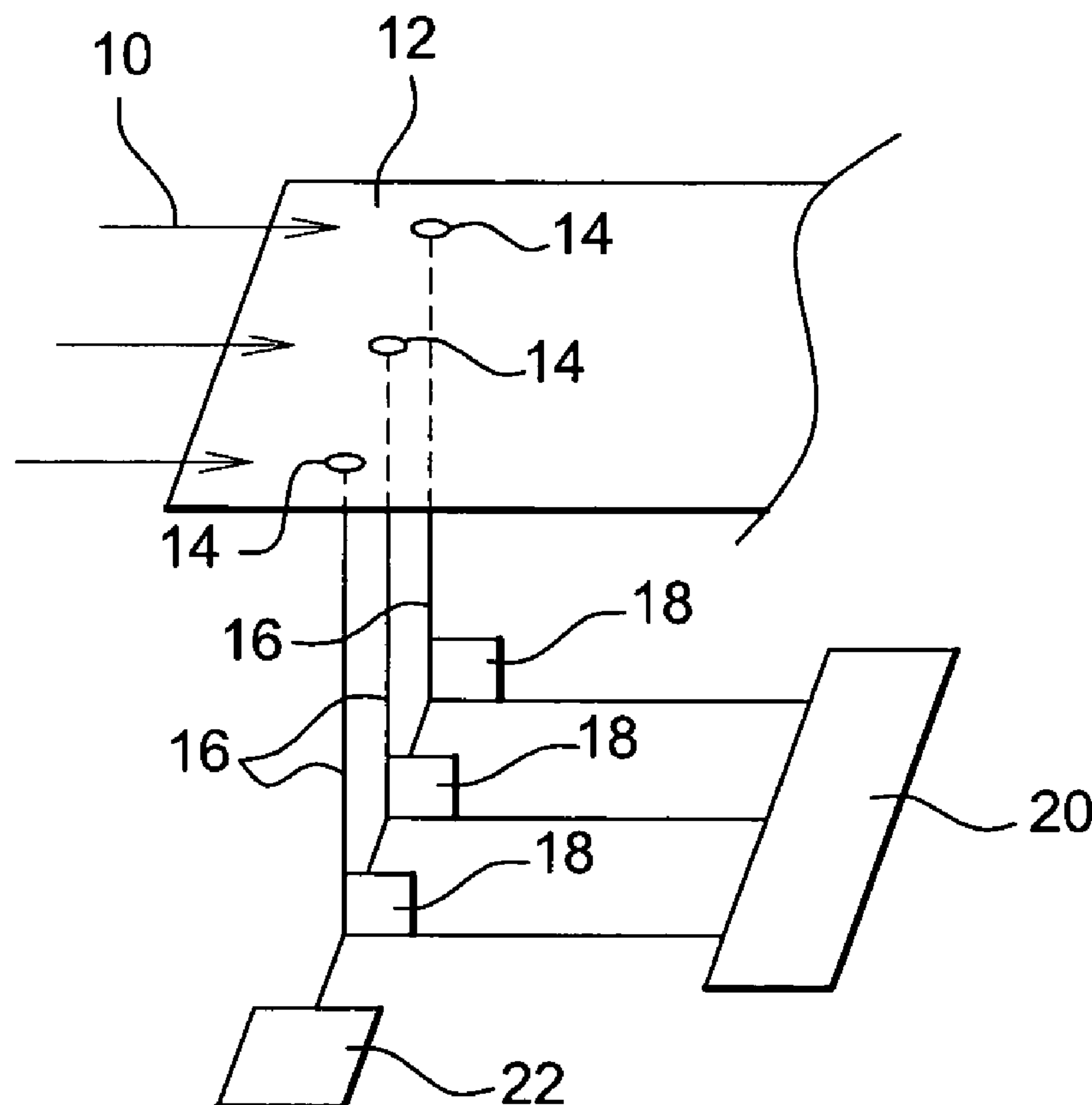




(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2007/10/31
(87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2008/05/22
(85) Entrée phase nationale/National Entry: 2009/04/24
(86) N° demande PCT/PCT Application No.: FR 2007/001810
(87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2008/059140
(30) Priorité/Priority: 2006/11/03 (FR06/09628)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *B64C 21/04* (2006.01)
(71) Demandeur/Applicant:
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE (CNRS), FR
(72) Inventeurs/Inventors:
STANISLAS, MICHEL, FR;
FOUCAUT, JEAN-MARC, FR;
KOSTAS, DIMITRIOS, FR;
DYMENT, ARTHUR, FR
(74) Agent: SMART & BIGGAR

(54) Titre : DISPOSITIF POUR RETARDER LE DECOLLEMENT D'UNE COUCHE LIMITE
(54) Title: DEVICE FOR DELAYING BOUNDARY LAYER SEPARATION



(57) Abrégé/Abstract:

The invention relates to a device for delaying the separation of a boundary layer in a flow of air (10) on a wall (12), including holes (14) formed in the wall (12) and connected to compressed air supply valves (18) by means of channels (16), the frequency of the



(57) **Abrégé(suite)/Abstract(continued):**

valve opening and closing cycles and the valve opening duration being selected so as to generate peak output velocities from the holes (14), which occur in quasi-continuous succession. The invention is particularly suitable for aircraft wings and motor vehicle bodies.

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international(43) Date de la publication internationale
22 mai 2008 (22.05.2008)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2008/059140 A3(51) Classification internationale des brevets :
B64C 21/04 (2006.01)(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2007/001810(22) Date de dépôt international :
31 octobre 2007 (31.10.2007)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
06/09628 3 novembre 2006 (03.11.2006) FR(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (CNRS) [FR/FR]; 3, rue Michel-Ange,
F-75794 Paris Cedex 16 (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **STANISLAS, Michel** [FR/FR]; 20 allée des Fauvettes, F-59493
Villeneuve D'ASQ (FR). **FOUCAUT, Jean-Marc**
[FR/FR]; 36, rue de l'abbé Lefebvre, F-59810 Lesquin (FR).
KOSTAS, Dimitrios [GR/FR]; 31, rue Princesse, APT
AR2, F-59800 Lille (FR). **DYMENT, Arthur** [FR/FR]; 9,
rue Cimetière, F-59152 Chereng (FR).(74) Mandataires : **RAMEY, Daniel** etc.; Ernest Gutmann -
Yves Plasseraud S.A., 3, rue Auber, F-75009 Paris (FR).(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de
protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AT,
AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN,
CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES,
FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN,
IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR,
LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX,
MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO,
RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,
GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM,
ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM),
européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI,
FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL,
PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,
GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

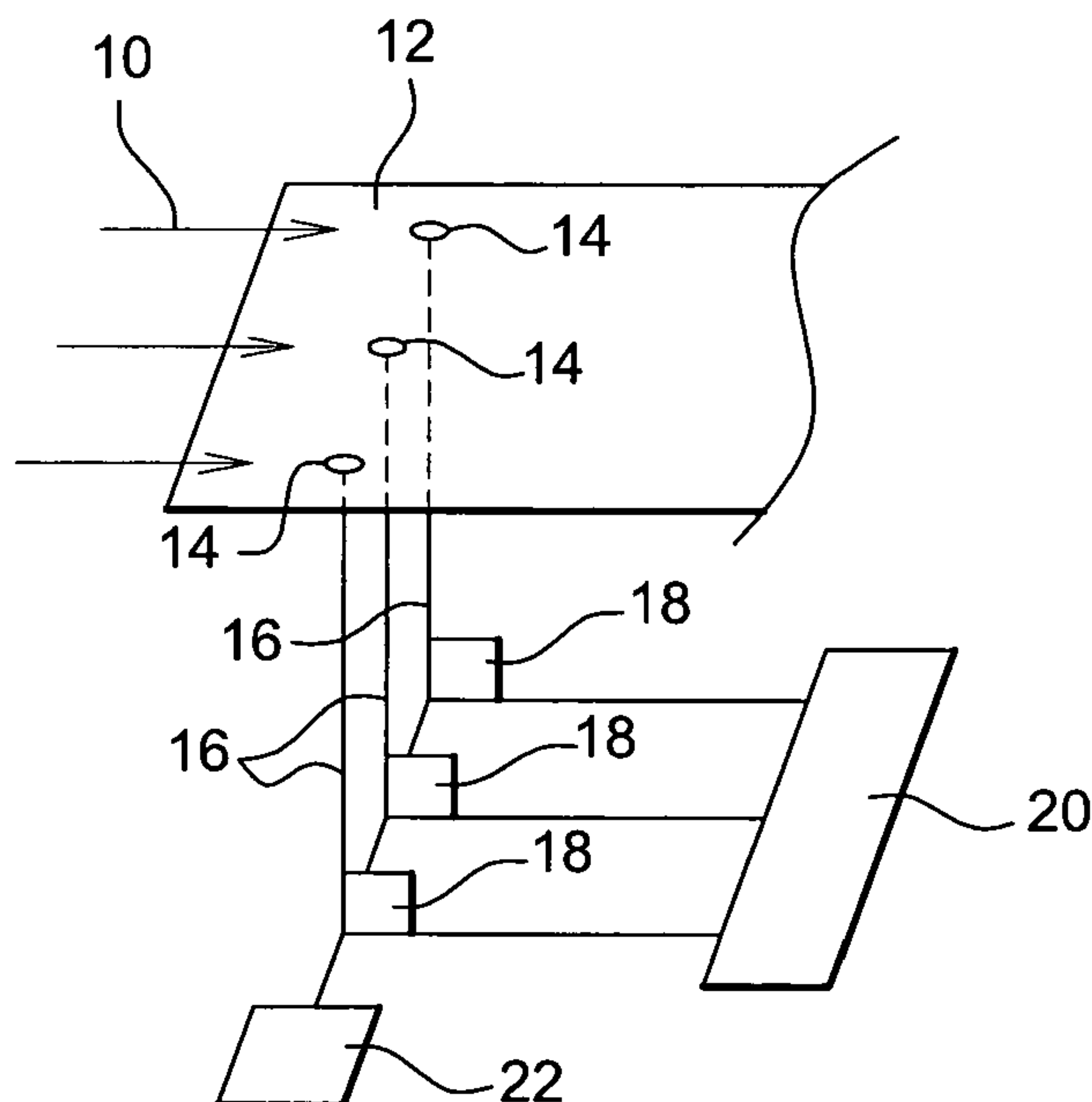
Publiée :

- avec rapport de recherche internationale
- avant l'expiration du délai prévu pour la modification des
revendications, sera republiée si des modifications sont re-
çues

(88) Date de publication du rapport de recherche
internationale: 17 juillet 2008

(54) Title: DEVICE FOR DELAYING BOUNDARY LAYER SEPARATION

(54) Titre : DISPOSITIF POUR RETARDER LE DECOLLEMENT D'UNE COUCHE LIMITE

(57) Abstract: The invention relates to a device for delay-
ing the separation of a boundary layer in a flow of air (10)
on a wall (12), including holes (14) formed in the wall (12)
and connected to compressed air supply valves (18) by means
of channels (16), the frequency of the valve opening and clos-
ing cycles and the valve opening duration being selected so as
to generate peak output velocities from the holes (14), which
occur in quasi-continuous succession. The invention is par-
ticularly suitable for aircraft wings and motor vehicle bodies.(57) Abrégé : Dispositif pour retarder le décollement d'une
couche limite dans un écoulement d'air (10) sur une paroi (12),
comprenant des orifices (14) formés dans la paroi (12) et re-
liés par des conduits (16) à des vannes (18) d'alimentation en
air comprimé, la fréquence des cycles d'ouverture et de fer-
meture des vannes et la durée d'ouverture des vannes étant
choisies pour générer des pics de vitesse en sortie des orifices
(14) qui se succèdent de façon quasi-continue. L'invention
s'applique notamment aux ailes d'avions et aux carrosseries
des véhicules automobiles.

WO 2008/059140 A3

Dispositif pour retarder le décollement d'une couche limite

L'invention concerne un dispositif pour retarder le décollement d'une couche limite dans un écoulement d'air sur une paroi, telle par exemple
5 qu'une aile d'avion ou une carrosserie de véhicule automobile.

Le décollement de la couche limite sur une aile d'avion se produit quand l'angle d'attaque de l'aile par rapport à l'écoulement devient important, ce qui arrive au décollage, à l'atterrissage et pendant les manœuvres, et se traduit par une diminution de la portance et par la
10 génération d'une traînée et donc par une diminution sensible des performances aérodynamiques de l'avion.

On a déjà proposé, pour retarder ce décollement, d'utiliser des jets continus ou pulsés, qui sont produits par alimentation en air sous pression d'orifices formés dans la paroi et inclinés par exemple dans une direction
15 perpendiculaire à l'écoulement et à 45° par rapport à la surface de la paroi, ces jets générant des tourbillons qui augmentent le frottement de l'écoulement sur la paroi et s'opposent au décollement de la couche limite.

Ces jets, continus ou pulsés, sont commandés par des moyens tels que des électrovannes et ne sont générés que pendant les phases de vol
20 où ils sont utiles. Les jets pulsés sont moins efficaces que les jets continus mais ont l'avantage de consommer moins d'air comprimé prélevé sur un moteur de l'avion car ce prélèvement se traduit par une diminution du rendement du moteur.

La présente invention a notamment pour but d'améliorer les
25 performances des dispositifs du type précité à jets pulsés.

Elle propose à cet effet un dispositif pour retarder le décollement d'une couche limite dans un écoulement d'air sur une paroi, comprenant des orifices formés dans la paroi avec une inclinaison déterminée par rapport à la direction de l'écoulement sur la paroi et par rapport à la surface
30 de la paroi, des conduits reliant ces orifices à des moyens d'alimentation en air sous pression, et des moyens de commande des moyens d'alimentation

en ouverture et en fermeture, caractérisé en ce que la fréquence des cycles d'ouverture et de fermeture des moyens d'alimentation et la durée d'ouverture des moyens d'alimentation dans chaque cycle sont déterminées pour générer en sortie des orifices, à l'ouverture des vannes,
5 des pics de vitesse d'air qui se succèdent de façon quasi-continue.

Cette détermination de la fréquence des cycles d'ouverture et de fermeture des moyens d'alimentation et de la durée d'ouverture des moyens d'alimentation dans chaque cycle permet d'optimiser les conditions de génération des jets pulsés et d'utiliser au mieux les pics de vitesse créés
10 à l'ouverture des moyens d'alimentation, pour se rapprocher des résultats obtenus avec des jets continus, tout en consommant beaucoup moins d'air comprimé.

Dans un mode de réalisation préféré de l'invention, la durée d'ouverture des moyens d'alimentation est comprise entre 5 et 10ms
15 environ en fonction de la longueur des conduits. La fréquence du cycle d'ouverture et de fermeture des moyens d'alimentation est de préférence comprise entre 30Hz et 200Hz en fonction de la longueur des conduits.

La pression (en valeur relative) de l'air d'alimentation des orifices est comprise entre 0,1 et 8 bars environ, le diamètre des orifices étant compris
20 entre 1 et 10 mm environ et la longueur des conduits d'alimentation de ces orifices entre 10 cm et 1 m environ.

Les jets pulsés peuvent être produits par des orifices inclinés de la même façon et dans le même sens par rapport à la surface de la paroi et génèrent alors des tourbillons co-rotatifs (qui tournent dans le même sens).

25 En variante, les jets pulsés peuvent être produits par des orifices qui sont deux à deux inclinés dans des sens opposés par rapport à la surface de la paroi, et génèrent alors des tourbillons contra-rotatifs (qui tournent dans des sens opposés).

Les moyens d'alimentation en air sous pression peuvent comprendre
30 des électrovannes dont les entrées sont reliées à une source d'air sous pression et les sorties aux orifices de la paroi, ou en variante, un

distributeur comprenant un tube tournant alimenté en air sous pression et comportant des rangées de trous radiaux, ce tube étant entraîné en rotation dans un carter cylindrique comportant des trous radiaux qui sont reliés aux orifices de la paroi et qui sont alignés axialement avec les trous du tube
5 tournant pour être cycliquement alimentés en air sous pression et obturés pendant la rotation du tube tournant.

L'invention s'applique en particulier à une aile d'avion ou à une carrosserie de véhicule automobile, l'air comprimé qui alimente les orifices précités étant prélevé sur un compresseur d'un moteur de l'avion ou du
10 moteur du véhicule automobile, respectivement, ou sur un compresseur auxiliaire.

De façon générale, l'invention permet d'augmenter d'environ 70 % le frottement de l'air sur la paroi, en aval des orifices précités, tout en consommant, selon les configurations, deux à cinq fois moins d'air environ
15 qu'un dispositif équivalent à jets continus.

L'invention sera mieux comprise et d'autres caractéristiques, détails et avantages de celle-ci apparaîtront plus clairement à la lecture de la description qui suit, faite à titre d'exemple en référence aux dessins annexés dans lesquels :

20 - la figure 1 représente schématiquement un écoulement d'air sur une paroi profilée telle qu'une aile d'avion ;

- la figure 2 représente schématiquement les moyens essentiels d'un dispositif selon l'invention ;

25 - les figures 3 et 4 représentent respectivement des orifices à jets co-rotatifs et contra-rotatifs ;

- la figure 5 est un graphe représentant la variation de la vitesse d'un jet pulsé pendant la durée d'un cycle d'ouverture et de fermeture d'une vanne ;

30 - la figure 6 est un graphe représentant la variation de la vitesse de sortie d'un jet pulsé en fonction du temps dans le dispositif selon l'invention ;

- la figure 7 est une vue schématique en coupe d'un distributeur tournant d'alimentation en air sous pression.

En figure 1, on a représenté schématiquement un écoulement d'air 10 sur une paroi profilée 12 telle qu'une aile d'avion avec un décollement de couche limite dans une zone D de l'extrados, ce décollement se traduisant par une réduction de la portance et par une augmentation de la traînée et donc par une dégradation des performances aérodynamiques de l'avion.

Pour retarder ce décollement, le dispositif selon l'invention comprend au moins une rangée d'orifices 14 qui sont formés dans la paroi 12 le long d'une ligne perpendiculaire à l'écoulement 10 et qui sont alimentés en air sous pression par des tubes ou conduits 16 reliés par des électrovannes 18 à une source 20 d'air sous pression, cet air étant prélevé sur un compresseur d'un moteur de l'avion ou sur un compresseur auxiliaire.

Les jets d'air sous pression sortant des orifices 14 génèrent des tourbillons qui ont pour effet d'augmenter le frottement de l'air sur la paroi 12 dans la couche limite et donc de retarder le décollement de cette couche limite.

Les études qui ont été faites par divers auteurs sur les dispositifs à jets continus ou à jets pulsés ont montré que de bons résultats pouvaient être obtenus lorsque les tourbillons produits tournent dans le même sens, ce que l'on obtient lorsque les axes des orifices 14 sont inclinés d'un même angle α et dans le même sens par rapport à la paroi 12, comme représenté en figure 3, les tourbillons pouvant également être contra-rotatifs, ce qui est obtenu lorsque les axes des orifices 14 sont inclinés d'un même angle α par rapport à la paroi 12 mais deux à deux dans des sens opposés comme représenté schématiquement en figure 4, cet angle pouvant être positif ou négatif et compris entre -45° et $+45^\circ$.

Dans un mode de réalisation préféré, les orifices 14 sont cylindriques à section circulaire, leurs axes sont perpendiculaires à la direction générale

de l'écoulement 10 et leur angle d'inclinaison par rapport à la paroi 12 est de 45°.

Les vannes 18 sont commandées en ouverture et en fermeture de façon cyclique, par exemple par un système 22 à microprocesseur, pour
5 produire des jets pulsés en sortie des orifices 14. La variation de la vitesse de sortie d'un jet pulsé pendant la durée T d'un cycle d'ouverture et de fermeture de la vanne correspondante, est représentée par la courbe C en figure 5. On voit qu'il se produit un pic de vitesse P au début de l'ouverture de la vanne après quoi la vitesse de sortie du jet oscille et se rapproche
10 d'une valeur Vc qui correspond à la vitesse de sortie d'un jet continu sortant du même orifice alimenté par la même pression d'air, la vitesse s'annulant ensuite quand la vanne est fermée en F à un moment qui correspond à 50% de la durée T du cycle d'ouverture et de fermeture, dans l'exemple représenté.

15 Au pic P, la vitesse de sortie du jet pulsé est supérieure d'environ 50% à la vitesse Vc d'un jet continu généré dans les mêmes conditions, le pic de vitesse étant dû à un phénomène acoustique dans le tube 16 à l'ouverture de la vanne 18.

Selon l'invention, la durée d d'ouverture de la vanne dans un cycle et
20 la fréquence 1/T des cycles d'ouverture et de fermeture de la vanne sont déterminées de façon à ce que les pics de vitesse P dans les différents cycles d'ouverture se suivent de façon quasi-continue comme représenté schématiquement en figure 6.

Une valeur optimale de d est comprise entre 5 et 10ms, la fréquence
25 des cycles d'ouverture et de fermeture des vannes étant comprise entre 30 et 200Hz.

De façon préférée, la durée d'ouverture des vannes est voisine de 5ms et la fréquence des cycles d'ouverture et de fermeture des vannes est voisine de 70Hz.

30 La longueur des tubes 16 est choisie pour augmenter la valeur du pic de vitesse P, qui peut atteindre jusqu'à 170 % de la vitesse Vc d'un jet

continu produit dans les mêmes conditions, cette longueur de tube étant de façon générale comprise entre 0,1 et 1 m environ, le diamètre des orifices 14 étant compris entre 1 et 10 mm.

Lorsque les orifices 14 sont alimentés comme représenté schématiquement en figure 6, le débit total d'air comprimé est égal à environ 35% du débit des jets continus à la même pression d'alimentation. Pour une pression (relative) d'alimentation de 2 bars, la vitesse de sortie des jets pulsés atteint une valeur maximale de 70ms. Le gain en frottement dans la couche limite, en aval des orifices 14, est alors de l'ordre de 70%.

La figure 7 représente schématiquement des moyens d'alimentation des orifices 14 en air sous pression, ces moyens comprenant à la place des vannes 18 un distributeur tournant 28 connecté à la source d'air sous pression 20 par l'embout 29 et à des conduits 16 menant aux orifices 14.

Le distributeur 28 comprend un tube cylindrique 30 qui est monté tournant autour de son axe dans un carter cylindrique 32 et qui est entraîné en rotation par un moteur électrique 34 commandé par un système à microprocesseur, tel que le système 22 de la figure 2.

Le tube cylindrique 30 est alimenté en air sous pression à l'une de ses extrémités par la source 20 et comporte des rangées annulaires de trous radiaux 36 de passage d'air comprimé. Le carter 32 comprend des trous radiaux 38 qui sont axialement alignés avec les rangées de trous radiaux 36 du tube tournant 30 de façon à être cycliquement alimentés en air sous pression et obturés lors de la rotation du tube 30.

La fréquence de pulsation de ce distributeur est définie par le produit de la vitesse de rotation du tube tournant 30 et du nombre de trous 36 défilant devant un trou 38 du carter pendant un tour de rotation du tube.

Dans le dispositif selon l'invention, le gain en frottements dans la couche limite, en aval des orifices 14, est proportionnel à la quantité de mouvement injectée qui dépend linéairement du DC (Duty Cycle) pour un rapport donné de la vitesse des jets en sortie des orifices 14 et de la vitesse de l'écoulement infini amont. Dans le dispositif de la figure 2, le DC

est égal au rapport entre le temps d'injection d et la fréquence T du cycle. Dans la variante de réalisation de la figure 7, le DC est égal au rapport entre le diamètre des trous 36 du tube tournant et la somme de leur diamètre et de leur espacement circonférentiel autour de l'axe du tube.

- 5 Un des avantages du distributeur 28 de la figure 7 est la très forte amélioration du rendement : les pertes de charge sont réduites pour l'obtention d'une grande vitesse en sortie des orifices 14, pour des débits qui sont très faibles. La pression relative d'alimentation est comprise entre 0 et 1,4 bars pour des vitesses en sortie des orifices 14 qui peuvent
- 10 atteindre la vitesse du son. Pour une pression d'alimentation relativement faible de 0,4 bars, on obtient en sortie des orifices 14 des vitesses de jet élevées d'environ 0,7 fois la vitesse du son.

Un autre avantage du distributeur 28 est sa compacité qui permet de le loger facilement à l'intérieur d'une aile d'avion.

REVENDICATIONS

1. Dispositif pour retarder le décollement d'une couche limite dans un écoulement d'air sur une paroi, comprenant des orifices (14) formés dans la paroi (12) avec une inclinaison déterminée par rapport à la direction de l'écoulement (10) sur la paroi et par rapport à la surface de la paroi, des conduits (16) reliant ces orifices à des moyens (18) d'alimentation en air sous pression, et des moyens de commande des moyens d'alimentation en ouverture et en fermeture, caractérisé en ce que la fréquence des cycles d'ouverture et de fermeture des moyens d'alimentation (18) et la durée d'ouverture des moyens d'alimentation dans chaque cycle sont déterminées pour générer en sortie des orifices des pics de vitesse (P) qui se succèdent de façon quasi-continue.

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que la durée d'ouverture des moyens d'alimentation est comprise entre 5 et 10 ms.

3. Dispositif selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que la durée d'ouverture des moyens d'alimentation est d'environ 5 ms.

4. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la fréquence des cycles d'ouverture et de fermeture des moyens d'alimentation est comprise entre 30 et 200Hz.

5. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que la fréquence des cycles d'ouverture et de fermeture des vannes est d'environ 70Hz.

6. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que la pression relative de l'air alimentant les orifices (14) est comprise entre 1 et 8 bars environ.

7. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le diamètre des orifices (14) est compris entre 1 et 10 mm.

8. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que la longueur des conduits (16) reliant les orifices (14) aux moyens d'alimentation (18) est comprise entre 0,1 et 1 m.

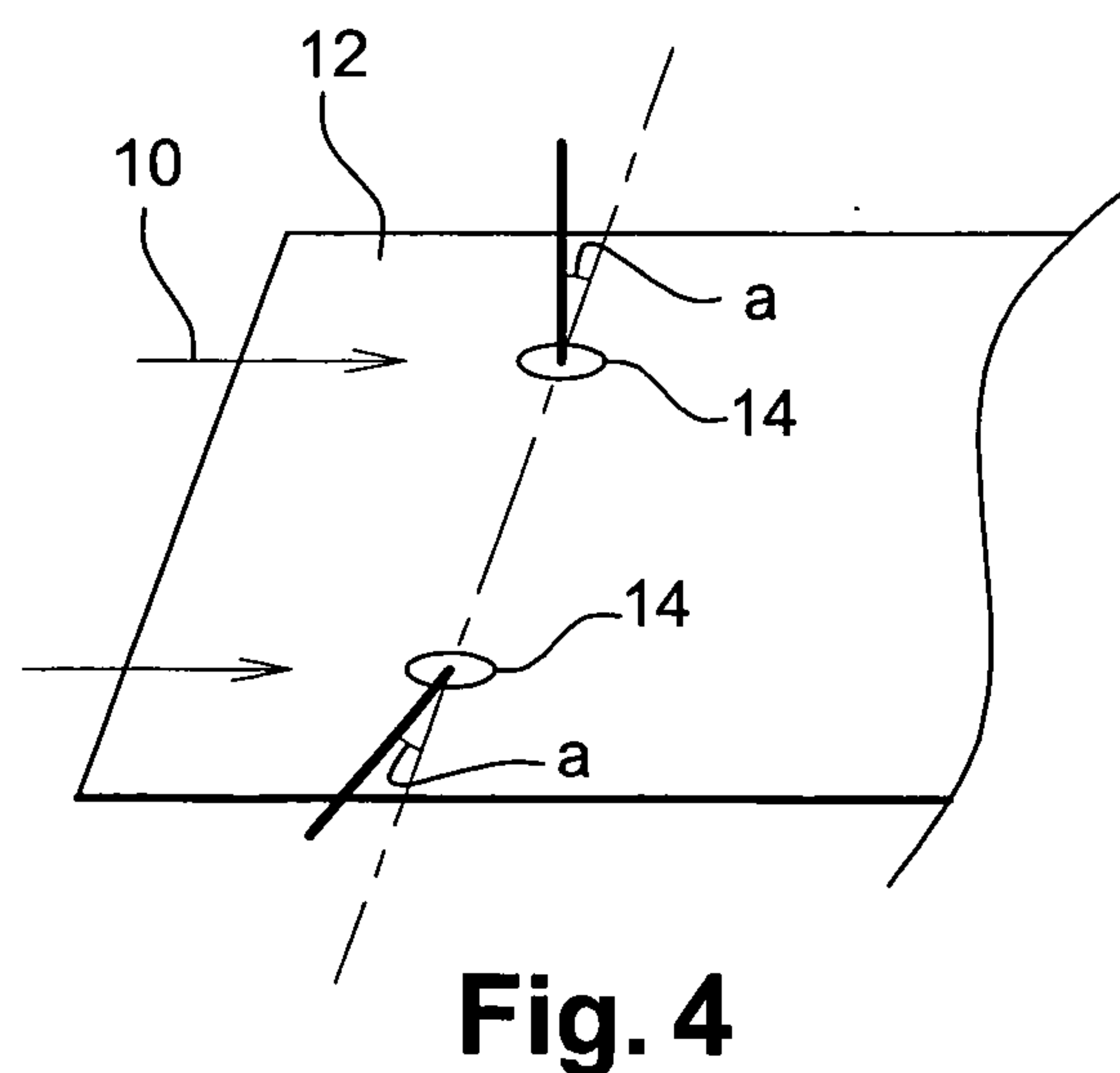
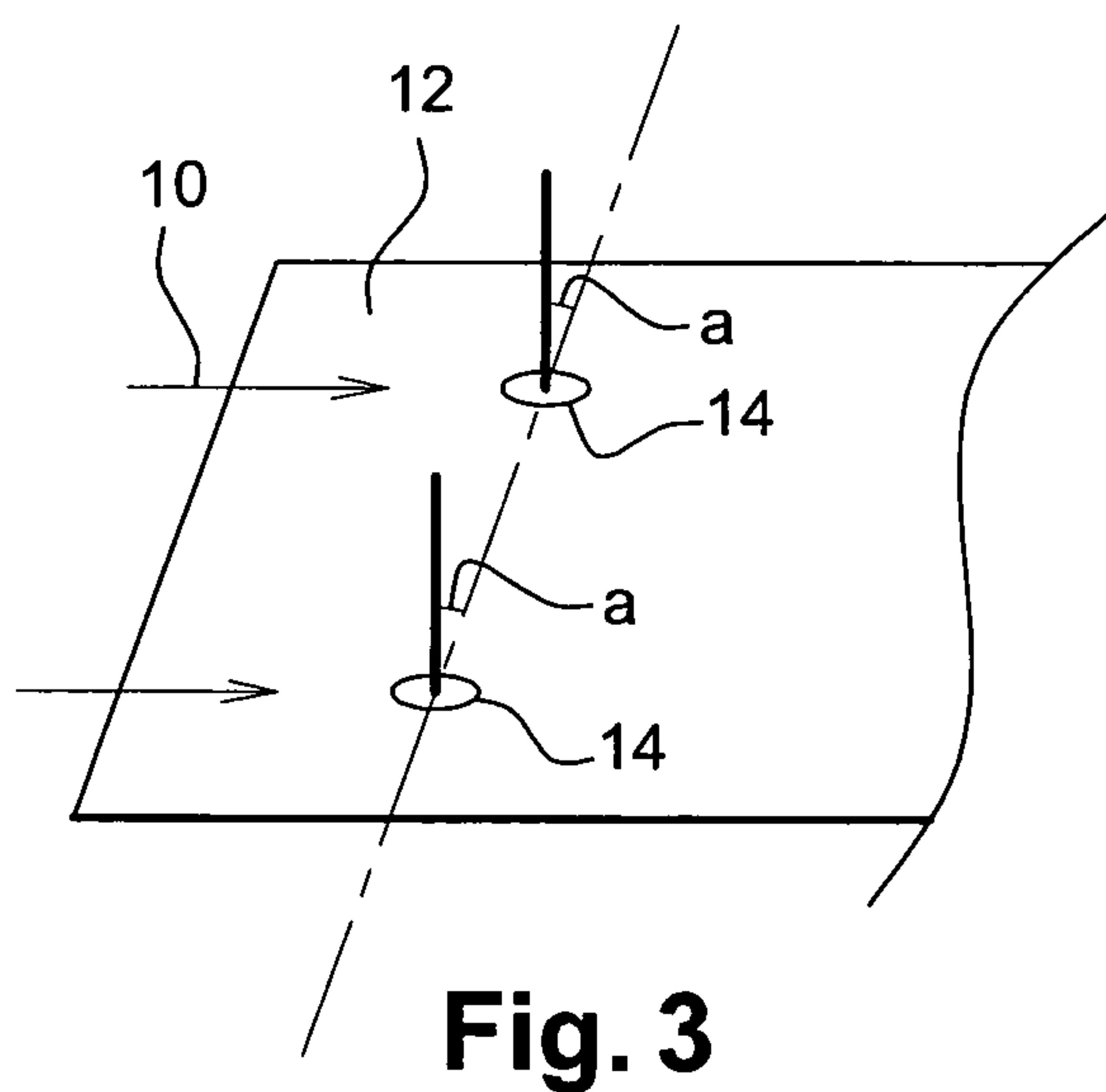
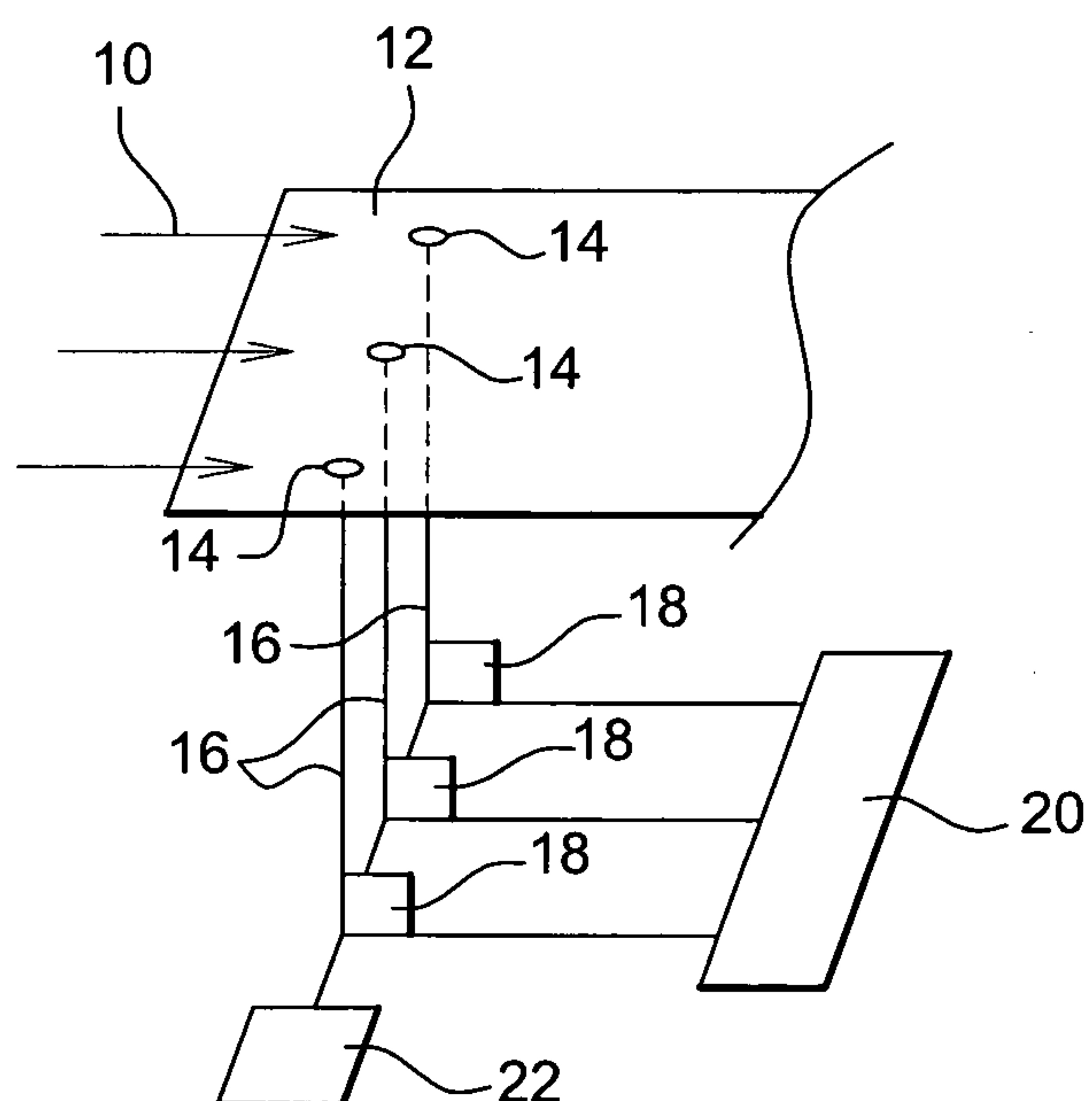
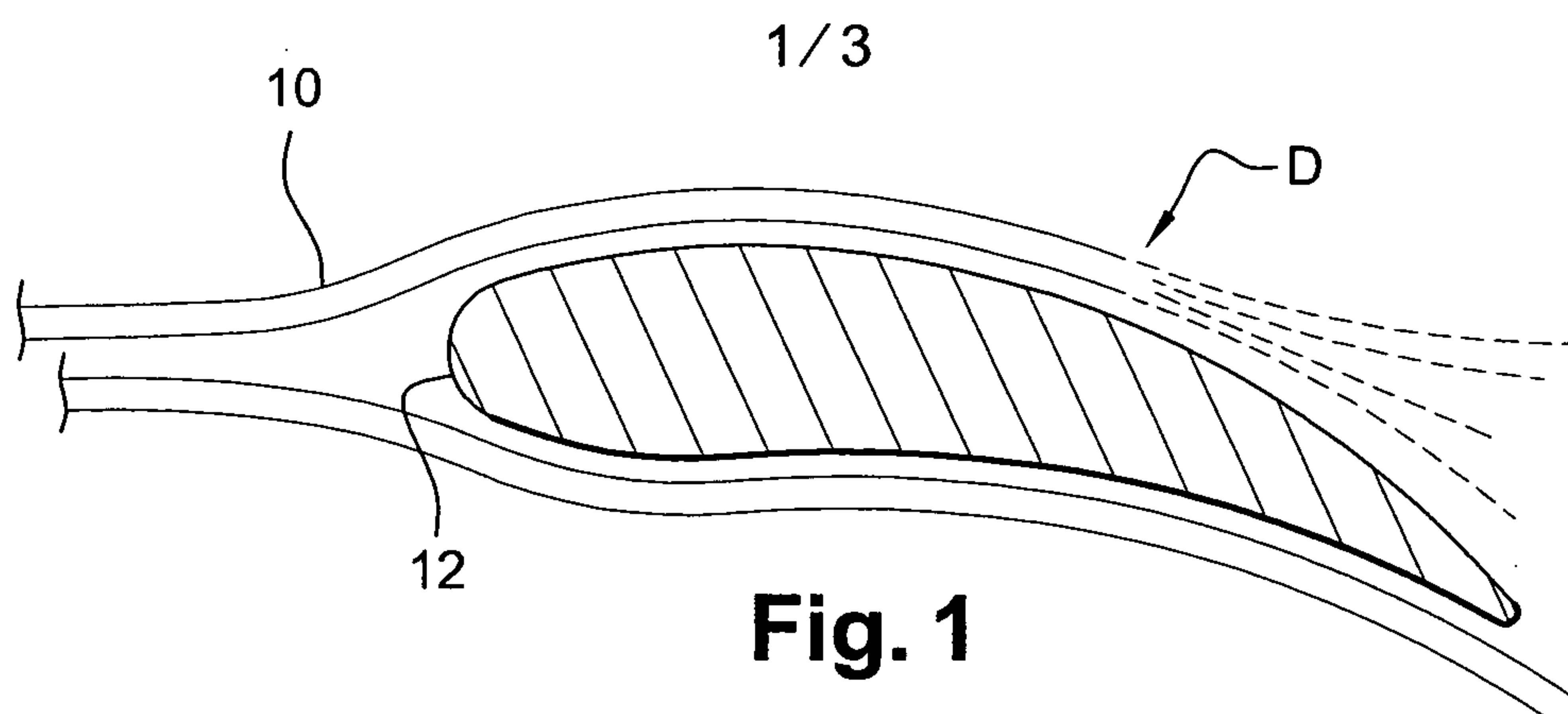
5 9. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que les axes des orifices (14) sont inclinés dans le même sens par rapport à la paroi (12) ou sont inclinés deux à deux d'un même angle dans des directions opposées par rapport à la paroi (12).

10 10. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que les moyens d'alimentation comprennent des électrovannes (18) reliées à une source (20) d'air sous pression.

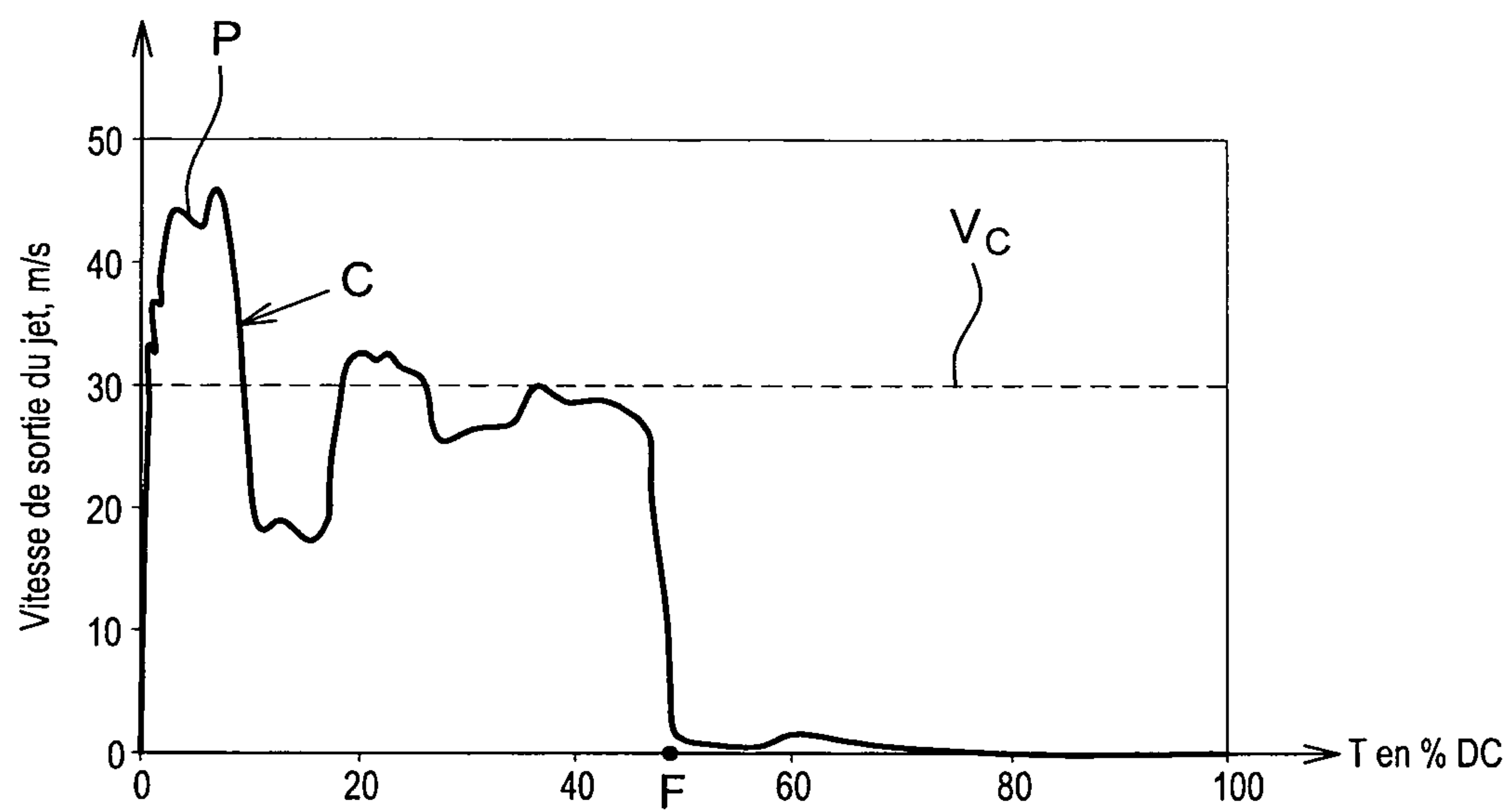
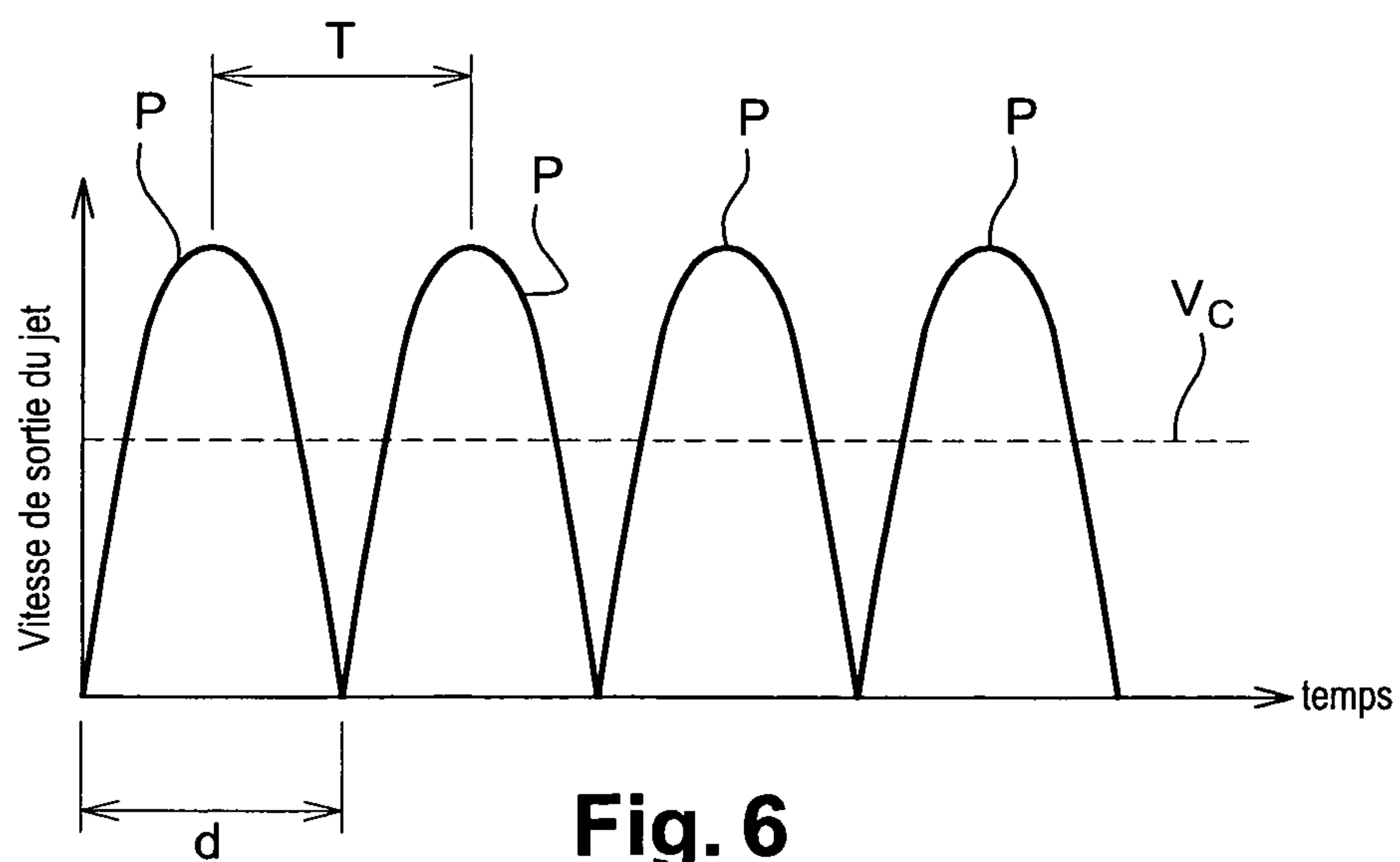
11. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que les moyens d'alimentation comprennent un tube tournant (30) comportant des rangées de trous radiaux (36) et alimenté en air sous pression, ce tube étant entraîné en rotation dans un carter cylindrique (32) 15 comportant des trous radiaux de sortie (38) qui sont reliés par des conduits aux orifices (14) de la paroi (12) et qui sont alignés axialement avec les trous (36) du tube tournant (30) pour être cycliquement alimentés en air sous pression et obturés pendant la rotation du tube tournant.

20 12. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il est appliqué à une aile d'avion ou à une carrosserie de véhicule automobile.

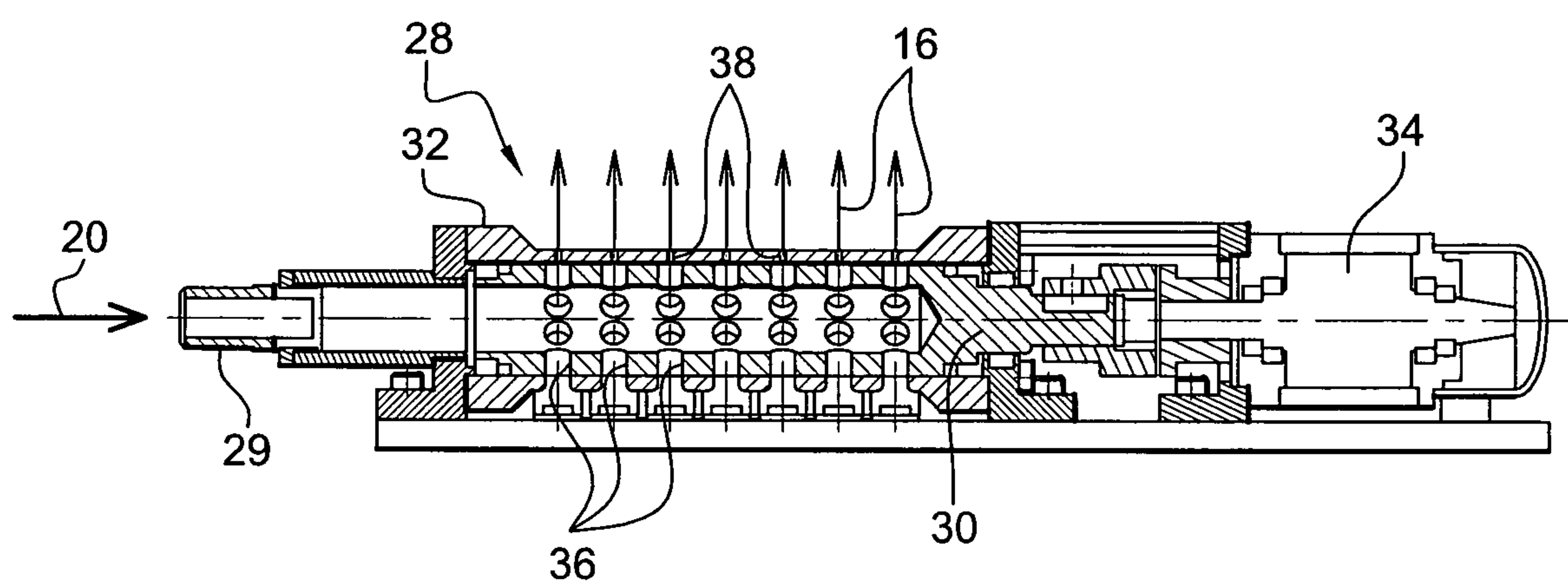
25 13. Dispositif selon la revendication 12, caractérisé en ce que l'air comprimé alimentant les orifices (14) de la paroi (12) est prélevé sur le moteur de l'avion ou du véhicule automobile ou est fourni par un compresseur auxiliaire.



2 / 3

**Fig. 5****Fig. 6**

3 / 3

**Fig. 7**

